DOI: 10.13930/j.cnki.cjea.160778

高会, 谭莉梅, 刘鹏, 刘金铜, 李晓荣. 基于二分类Logistic回归模型的太行山丘陵区县域耕地资源潜力估算[J]. 中国生态农业学报, 2017, 25(4): 490−497
Gao H, Tan L M, Liu P, Liu J T, Li X R. Estimation of arable land resources potential in hilly area of Taihang Mountain based on binary Logistic regression model[J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2017, 25(4): 490−497

基于二分类 Logistic 回归模型的太行山丘陵区县域耕地资源潜力估算*

高 会[1,2], 谭莉梅[1], 刘 鹏[3], 刘金铜[1**], 李晓荣[1,2]

(1. 中国科学院农业水资源重点实验室/中国科学院遗传与发育生物学研究所农业资源研究中心 石家庄 050022; 2. 中国科学院大学 北京 100049; 3. 北京沃尔德防灾绿化技术有限公司 北京 100048)

摘 要: 耕地红线划定与人-地资源矛盾日益突出背景下, 耕地资源潜力的研究与开发日显重要。我国耕地面积近2/3分布在山区, 因此山区耕地资源的合理开发利用及其资源潜力的研究尤为重要。本文以华北地区的太行山为研究区域, 选择耕地占比和资源潜力最大的丘陵区典型县——河北省井陉县为研究案例, 选取13个影响耕地资源潜力的基本生态要素, 包括5个地形要素和8个直接气象要素或由气象要素计算得到的间接气象要素, 引入二分类Logistic回归分析方法, 运用偏最大似然估计向前引入法的拟合方法, 筛选提取影响耕地资源潜力的关键生态要素; 由模型参数Waldχ2统计量分析影响耕地资源潜力的关键生态要素的贡献率排序; 由模型参数回归系数β分析耕地资源潜力与生态要素的相关关系; 由模型参数发生比率OR分析量化关键生态要素对耕地资源潜力的影响, 最终建立Logistic回归模型。基于此模型, 在GIS软件中得到井陉县耕地资源潜力分布图, 进而估算出县域耕地资源潜力。研究结果表明: 13个影响井陉县耕地资源潜力的基本生态要素中8个为关键生态要素; 关键生态要素中地形要素配置比气象要素配置更为重要; 年平均气温和寒冷指数与耕地资源潜力呈负相关关系, 其余生态要素则呈正相关关系; 由回归模型估算出井陉县具备垦殖为耕地资源的土地面积为60 400 hm^2, 而根据遥感影像解译结果得出的现有耕地资源为45 600 hm^2, 由此井陉县尚具有14 800 hm^2的后备耕地资源, 相当于现有耕地面积的32.5%, 这说明在不考虑垦殖所带来的可能负效应的前提下, 井陉县具有较大的后备耕地资源开发潜力, 该结论为井陉县后备耕地资源的开发与可持续利用提供了理论依据。

关键词: 太行山丘陵区; 二分类Logistic回归模型; 生态要素; 耕地资源潜力; 后备耕地资源
中图分类号: X171.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1671-3990(2017)04-0490-08

Estimation of arable land resources potential in hilly area of Taihang Mountain based on binary Logistic regression model*

GAO Hui[1,2], TAN Limei[1], LIU Peng[3], LIU Jintong[1**], LI Xiaorong[1,2]

(1. Key Laboratory of Agricultural Water Resources, Chinese Academy of Sciences / Center for Agricultural Resources Research, Institute of Genetics and Developmental Biology, Chinese Academy of Sciences, Shijiazhuang 050022, China; 2. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China; 3. Beijing World Hazard Prevention Technology Co. Ltd., Beijing 100048, China)

Abstract: Research on the potential of cultivated land resources in mountainous area is particularly important for the

* 国家重点基础研究发展计划(973计划)项目(2015CB452705)资助
** 通讯作者: 刘金铜, 主要从事脆弱生态系统修复与生态工程研究。E-mail: jtliu@sjziam.ac.cn
高会, 主要从事生态系统服务研究。E-mail: gaohui0110@163.com
收稿日期: 2016-11-02 接受日期: 2017-01-20
* Supported by the National Program on Key Basic Research Project of China (973 Program) (2015CB452705)
** Corresponding author, E-mail: jtliu@sjziam.ac.cn
Received Nov. 2, 2016; accepted Jan. 20, 2017

sustainable development and utilization of arable lands. Using Jingxing County of Hebei Province, a typical hilly county in Taihang Mountain, as a case study, the potential for reserved cultivated land in mountain regions was estimated. A total of 13 ecological factors influencing the potential of cultivated land resources in hilly areas were used in the analysis — 5 terrain factors and 8 climate or climate-related factors. A binary Logistic regression model was built on key ecological factors to analyze the potential of arable land resources in mountain regions in the case-study area. The distribution map of potential arable land resources in Jingxing County was draw in GIS environment based on the result binary Logistic regress and the potential arable land resources in the region analyzed from the map. The key ecological factors among 13 factors that influenced arable land resources were extracted using the same binary Logistic regression model. The order of the contribution of key ecological factors was determined using the model parameter (Waldχ^2). The regression coefficient (β) was used to analyze the correlation between the key ecological factors and potential arable land resources in the region. Odds ratio (OR) was use to show correlation between the changes in configuration of key ecological factors and the changes in potential arable land resources. The results showed that there were 8 key ecological factors influencing cultivated land resources in the case-study area, with the importance order of relief > elevation > slope position index > trasp > coldness index > annual average temperature > drought index > slope. Terrain factors were more important indicators than the climate-related factors in estimation of cultivated land resource potential. Among 8 key ecological factors, annual average temperature and coldness index were both negatively and positively correlated with potential arable land resources, while other 6 factors were all negatively correlated with potential arable land resources. OR calculation showed that except drought index, the one unit change of the key ecological factors caused 1 time change in cultivated land resource potential. About 60 400 hm^2 of land resources were available for cultivation in the Jingxing County. The analysis of SPOT5 image showed 45 600 hm^2 of existing cultivated land. Therefore, there were 14 800 hm^2 of cultivatable land reserves in the county, accounted for 32.5% of the existing cultivatable lands in the region. This suggested that there still were a lot of cultivatable land reserves in Jingxing County. The results of this study provided theory basis for the development and utilization of cultivated land reserves in Jingxing County.

Keywords: Hilly area of Taihang Mountain; Binary Logistic regression model; Ecological factor; Cultivated land resource potential; Cultivatable land reserve

山地约占全球陆地总面积的 20%[1]，世界约 12%的人口居住在山区[2]。我国是一个多山国家，山地面积约占陆地总面积的 70%，40%多的人口生活在山区[3-4]。耕地是人类赖以生存的根本，我国耕地中有近 2/3 分布在山区、丘陵和高原，且耕地面积在持续减少[5]。进入 21 世纪以来，由于山区退耕还林还草政策实施，山区耕地面积逐渐减少[6]，而社会经济持续快速增长也不可避免的要占用耕地。因此，为确保“18 亿亩耕地的红线”，研究利用后备耕地资源对保障耕地动态平衡意义重大。我国已经进行了几次大规模的后备耕地资源调查，数据显示，后备耕地资源中面积最大的是荒草地，占总后备耕地资源的 88.44%[7]。

当前对山区耕地资源方面的相关研究主要集中于 3 个方面：一是对山区耕地资源时空分布特征的研究，在时间上利用遥感影像解译、结合地理信息系统(GIS)空间分析功能研究不同区域尺度的土地利用(包括耕地)时空变化，如 Ullah 等[8]研究了兴都库什山脉耕地的时空变化特征；在空间上耕地资源的分布格局特征主要从地形因素(高程、坡度)方面进行分析；谭莉梅等[9]对河北省太行山区域耕地资源的空间分布从海拔、坡度及地形类型 3 个方面进行了分析研究。二是对山区耕地资源的适宜性评价研究，胡学东等[10]以自然因素为主的 8 个评价指标评价鄂西北山地区耕地整治的适宜性；Liu 等[11]从气候、水文、地形、土壤和植被 5 个方面对土地适宜性进行评价，得出部分秦岭山区耕地需要退耕。三是对山区后备耕地资源的适宜性研究，张甘霖等[12]和张迪等[7]分别评价了后备耕地资源的自然质量适宜性和经济供给适宜性，研究中所用的后备耕地资源只是根据土地利用分类数据依据耕地后备资源定义[13]提取得到的，而且其研究对象也不仅是山区。前人的研究中，或是针对现有耕地资源存量的研究；或是土地利用分类数据、偏重于自然质量和经济供给适宜性，过于侧重从土地管理部门的需求角度出发。因此，本研究重点关注耕地资源潜力和后备耕地资源的相关性，在考虑现有耕地存量条件下，综合考虑山区影响耕地资源潜力的地形与气象等生态要素，通过建立模型，精准估算土地可垦殖为耕地资源的综合潜力及其分布，并与现有耕地存量及分布比较，从自然生态条件和战略储备上分析探讨山区尚具备的后备耕地资源开发潜力，这个方面的研究目前尚少见报道。

张迪等[7]指出后备耕地资源中，面积最大的是

荒草地，这部分荒草地大多分布在山地丘陵区[7]。张贵军等[14]按不同地貌类型将河北省划分为 8 个类型区，其中太行山丘陵区耕地后备资源潜力较大。因此，本文以太行山为研究区域，选择耕地占比和资源潜力最大的丘陵区为研究对象，以河北省井陉县为典型县域研究案例，建立丘陵区耕地资源潜力与关键生态要素的二分类 Logistic 回归模型。基于此模型，在 GIS 软件中得到太行山丘陵区井陉县耕地资源潜力分布图，进而估算出县域耕地资源潜力，并与根据遥感解译所得的井陉县耕地资源信息对比分析，为井陉县后备耕地资源的开发、政府决策和耕地资源可持续利用提供理论依据。

1 研究区域概况与研究方法

1.1 研究区概况

井陉县位于河北省西部，太行山东麓，37°42′~38°13′N, 113°48′~114°18′E，是 100%山区县。井陉县总面积 138 320 hm^2，其中耕地 22 867 hm^2，占总面积 16.5%。全县总人口 32 万。井陉县属于温带亚湿润大陆性气候，海拔从 145~1 188 m，降水量 456~521 mm，年平均温度 6~12 ℃，≥10 ℃积温 3 273~4 314 ℃。山区坡度 0°~58°。井陉县在整个太行山区的位置如图 1 所示。

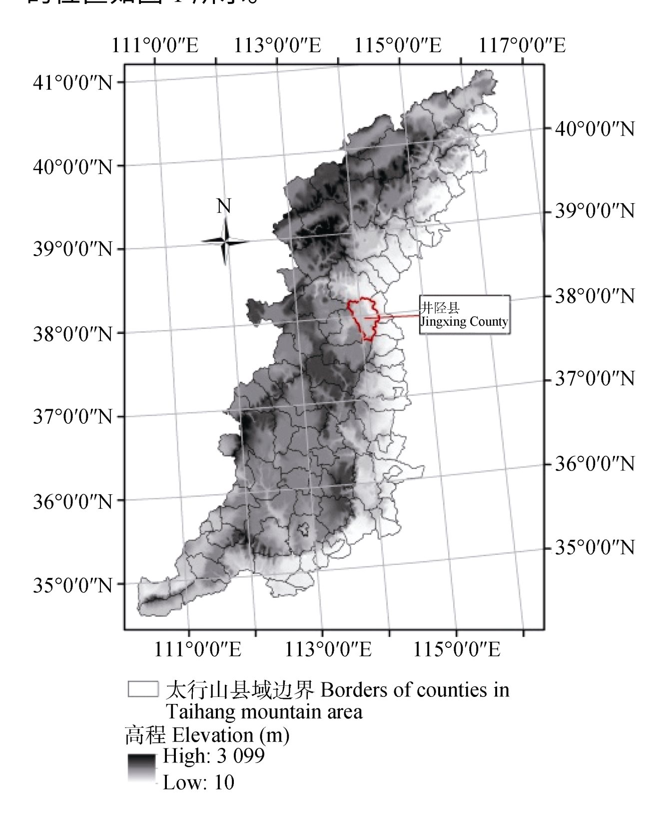


图 1 井陉县在太行山区位置图

Fig. 1 Map of Taihang mountains area and the location of the study area of Jingxing County

1.2 数据来源及其处理

为便于运算，所有的数据都采用 GIS 的栅格数据类型(表 1)，并且在 90 m×90 m 的分辨率上进行重采样，都配准到 WGS84 坐标系统。

表 1 遥感影像解译耕地资源误差矩阵表

Table 1 Error matrix of cultivated land resources of the remote-sensing image interpretation Grids

实际数据类型 Real data type	遥感影像解译数据类型 Data type of image interpretation		
	耕地 Cultivated land	非耕地 Non data type	总和 Total
耕地 Cultivated land	1 893	143	2 036
非耕地 Non cultivated land	480	3 520	4 000
总和 Total	2 373	3 663	6 036

1.2.1 井陉县耕地资源

为得到更加详细、准确的耕地资源数据，本研究利用 2006 年 10 月的分辨率为 2.5 m 的 SPOT5 遥感数据解译研究现有耕地。解译中将土地利用分为耕地和非耕地两种类型(图 2)。解译结果精度评价采用典型区域野外抽样调查，在解译为耕地的区域随机选取了 20 个样区，总面积为 12 725 m^2，包含 2 036 个栅格单元，耕地解译精度为 93%；在解译为非耕地的区域随机选取 40 个样区，总面积为 25 000 m^2，包含 4 000 个栅格单元，非耕地解译精度为 88%，总的解译精度为 90%(表 1)。

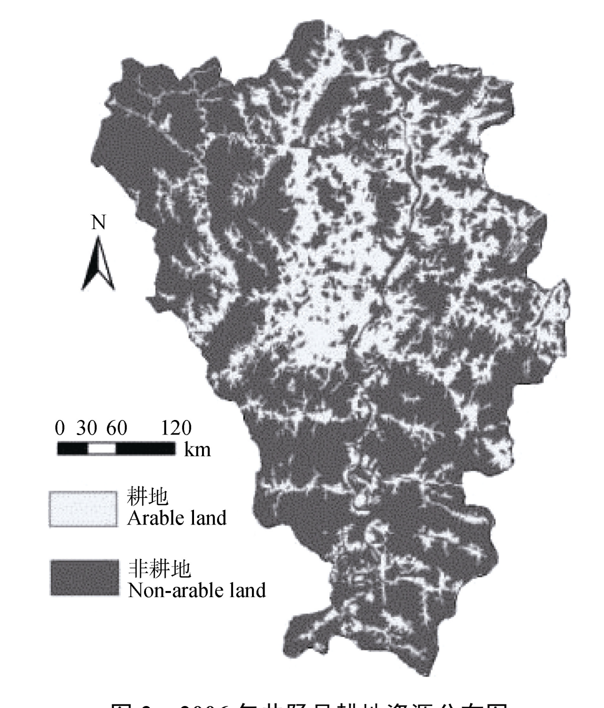


图 2 2006 年井陉县耕地资源分布图

Fig. 2 Distribution map of cultivated land of Jingxing County in 2006

1.2.2　影响耕地资源潜力的生态要素

影响耕地资源分布的生态因素很多，根据胡学东等[10]在鄂西北山地区耕地整治适宜性评价中选取的影响耕地整治的因素以及张甘霖等[12]研究的中国后备耕地资源自然适宜性评价中的评价因子，同时考虑数据的可获取性，本研究选取了 5 个地形要素，包括高程、坡度、转换坡向、地形起伏度和坡位指数，8 个气象要素及由气象要素计算所得的相关要素，包括即年平均气温、年平均降水、年活动积温、年生物积温、温暖指数、寒冷指数、湿润指数和潜在蒸发率(表 2)。

表 2　耕地资源及影响耕地资源潜力的生态要素属性表
Table 2　Attributes of cultivated land and ecological factors influencing cultivated land resources potential

变量 Variable	数据层 Data	栅格类型 Grid type	单位或描述 Unit/describe
因变量 Dependent variable	耕地 Arable land	二分类 Binary	0, 1
自变量 (地形要素) Independent variable (terrain factors)	高程 DEM	连续型 Continuous	m
	坡度 Slope direction	连续型 Continuous	°
	照射坡向 Trasp	连续型 Continuous	无量纲 Non-dimensional
	地形起伏度 Relief	连续型 Continuous	m
	坡位指数 Topographic position index	连续型 Continuous	m
自变量 (气象要素) Dependent variable (climate factors)	年平均温度 Annual average temperature	连续型 Continuous	℃
	年平均降水 Annual average precipitation	连续型 Continuous	mm
	年活动积温 Active accumulate temperature	连续型 Continuous	℃
	年生物积温 Biological cumulative temperature	连续型 Continuous	℃
	温度指数 Warmth index	连续型 Continuous	℃
	寒冷指数 Coldness index	连续型 Continuous	℃
	湿润指数 Humidity index	连续型 Continuous	mm·℃$^{-1}$
	干燥度 Drought index	连续型 Continuous	无量纲 Non-dimensional

高程(DEM)数据来自分辨率为 90 m 的美国 SRTM 数据(http://www.gscloud.cn)(图 3A)；以 DEM 为原始数据，坡度、坡向分别利用 ARCGIS10.2 中的 slope、aspect 命令直接得到各个栅格的坡度值(图 3B)和坡向值。照射坡向(Trasp)能够直观反映接受太阳能多少，需要对坡向(aspect)进行一定的转换，公式如下：$\text{Trasp}=\frac{1-\cos\left[\left(\frac{\pi}{180}\right)(\text{aspect}-30)\right]}{2}$，Trasp 的值域为[0, 1]，0 表示接受的太阳能最少，1 表示接受的太阳能最多(图 3C)。地形起伏度指地面某一确定距离的范围内最高点与最低点的高程差，本文选择 3×3(单位：栅格)的矩形区域基于 GIS 得到各个栅格的地形起伏度(图 3D)。坡位指数是用来计算某一单元在整体景观中的位置， 通过计算栅格单元与周围栅格单元的平均海拔差得到的，本文选择尺度为 20×20(单位：栅格)的矩形区域利用 GIS 软件得到各个栅格的坡位指数(图 3E)。

气象数据是通过 1961—2005 年气象站的观测得到的，需要对多年数据平均值进行空间差值，从而得到每个栅格单元的气象要素数据。本文利用全国 720 个气象台站的气温和降水数据结合高程、经度和纬度，建立气温和降水的多元回归方程，然后利用内插的方法得到每个栅格的日气温和降水数据。年平均气温和年平均降水利用每个栅格的日气温、日降水数据计算得到(图 3F-G)。年≥10 ℃活动积温通过 ARCGIS10.2 中的 raster calculator 命令计算得到(图 3H)。年生物积温是指>0 ℃、<30 ℃的月平均气温(当月平均气温>30 ℃时，取值为 30 ℃)之和的平均值(图 3I)。温暖指数是指一年中月平均气温下 5 ℃以上的月份的月平均气温与 5 ℃只差的累计值(图 3J)。寒冷指数是指月平均气温小于 5 ℃的月份的月平均气温与 5 ℃只差的累计值(图 3K)。湿润指数是降水量与温暖指数的比值(图 3L)。干燥度是年潜在蒸发量与降雨量的比值，本文的年潜在蒸发量根据 Holdridge 经验公式计算得到，即年潜在蒸发量等于 58.93 乘以年生物积温(图 3M)。以上气象相关要素数据都是根据日气温和日降水数据利用 GIS 的栅格运算得到的。

1.3　二分类 Logistic 回归模型

1.3.1　模型原理

二分类 Logistic 回归分析是针对因变量为二分类的非线性回归统计方法。本研究中耕地(Y)是二分类因变量。当土地利用为耕地时 Y=1，否则，Y=0。假设影响土地利用是否能成为耕地的是 13 生态要素，即自变量(X_i)(i=1，2，…，k)，土地利用为耕地(Y=1)的概率为 P。二分类 Logistic 回归模型如式(1)[15-16]：

$$P=\frac{\text{EXP}(\beta_0+\beta_1X_1+\beta_2X_2+\cdots+\beta_kX_k)}{1+\text{EXP}(\beta_0+\beta_1X_1+\beta_2X_2+\cdots+\beta_kX_k)} \tag{1}$$

$$\text{Logit } P\left(Y=\frac{1}{x_i}\right)\ln\left[P/(1-P)\right]=\beta_0+\beta_1X_1+\beta_2X_2+\cdots+\beta_kX_k \quad (2)$$

式中: β_i (i=0, 1, 2,⋯, k)为回归系数。$P/(1-P)$为事件的发生比率(odds ratio)。

1.3.2 模型验证

本研究用 HL 指标检验二分类 Logistic 回归模型拟合优度。当 HL 指标统计显著表示模型拟合不好。相反, 当 HL 指标统计不显著表示模型拟合好。HL 指标是一种类似于皮尔逊 χ^2 统计量的指标, 其公式如下[15-16]:

$$\text{HL}=\sum_{g=1}^{G}\frac{(Y_g-N_gP_g)}{N_gP_g(1-P_g)} \quad (3)$$

式中: G 为分组数, G≤10; N_g 为第 g 组中的案例数; Y_g 为第 g 组事件的观测数量; P_g 为第 g 组预测事件概率; N_gP_g 为预测数。

1.4 二分类 Logistic 回归模型建立

1.4.1 样本选取

样本选取通过 Arcgis 中的随机取样命令来实现, 首先将井陉县土地利用分为耕地和非耕地两个栅格图, 利用 ArcgisWorkstation 中的 rand 命令对所有的井陉县进行随机编码。然后耕地取编码数值小于 0.4 的栅格, 非耕地选择编码数值小于等于 0.2 的栅格作为掩膜(也就是选取了井陉县耕地面积的 40%和井陉县非耕地面积的 20%作为样本), 共选取的样点数为 46 083 个, 其中耕地的样点数为 22 254 个, 非耕地的样点数为 23 829 个, 不相等的抽样比例不会影响解释变量在 Logistic 回归模型中的系数估计, 但是会影响模型的常数项[16-17], 为保证耕地与非耕地样点数的基本一致, 对耕地和非耕地分开取样, 选择不同的编码数值界线(因为山区耕地面积较小)。最后, 应用 GIS 软件, 基于井陉县关键生态要素栅格图提取井陉县内耕地和非耕地样点所对应的 13 个关键生态要素的值。

1.4.2 模型建立

将因变量耕地资源(耕地/非耕地)和相对应的自变量(13个关键生态要素值)输入到SPSS软件中, 利用软件中二分类Logistic回归模型, 选择偏最大似然估计向前引入法的拟合方法将P值小于0.05的变量引入回归过程, 这种方法中, 被选自变量依次进入回归模型, 首先引入与因变量最大偏相关且符合引入标准的自变量, 在引入第1个变量后, 再引入第2个与因变量最大偏相关并且符合引入标准的自变量, 依次类推。当无自变量符合引入标准时, 中止回归过程。采用此方法, 从13个生态要素因子中选择出影响山区耕地资源的关键生态要素8个, 引入的顺序依次为地形起伏度、高程、坡位指数、转换坡向、寒冷指数、年平均气温、干燥度、坡度。

1.4.3 模型验证

由表3可知, 模型的HL指标为2.532, 其概率为0.98, 统计不显著, 说明耕地资源可能性分布的二分类Logistic回归模型很好地拟合了数据。

2 结果与分析

2.1 山区耕地资源潜力的关键生态要素

偏最大似然估计向前引入法的拟合方法, 从13个生态要素因子中选择了影响山区耕地资源的关键生态要素8个, 引入的顺序依次为地形起伏度、高程、坡位指数、转换坡向、寒冷指数、年平均气温、干燥度、坡度。由模型参数Waldχ^2统计量(表3)可知,

表 3 耕地资源(因变量)及其关键生态要素(自变量)的二分类 **Logistic** 回归模型参数及显著水平

Table 3 Parameters and significance of binary Logistic regression model of cultivated land (dependent variable) and its key ecological factors (independent variables)

自变量 Independent variable	回归系数(β) Regression coefficient	标准误差(S.E.) Stand error	统计量(Waldχ^2) Statistics	自由度(df) Degree of freedom	显著性水平(P) Significant level	发生比率(OR) Odds ratio
高程 Elevation	–0.003	<0.001	900.270	1	<0.001	0.997
坡度 Slope	–0.006	0.002	5.545	1	0.019	0.994
照射坡向 Trasp	–0.640	0.033	367.300	1	<0.001	0.527
坡位指数 Slope position index	–0.008	<0.001	462.390	1	<0.001	0.992
地形起伏度 Relief	–0.029	0.001	2 045.482	1	<0.001	0.972
年平均气温 Annual average temperature	0.220	0.026	70.173	1	<0.001	1.246
寒冷指数 Coldness index	0.140	0.013	121.506	1	<0.001	1.150
干燥度 Drought index	–1.192	0.305	15.262	1	<0.001	0.304
常数 Constant	7.590	0.919	68.185	1	<0.001	1 978.469

HL (homsmer-lemeshow) = 2.532. P=0.98.

图 3　井陉县影响耕资源的生态要素栅格图

Fig. 3　Grid maps of the key ecological factors impacting cultivated land resources of Jingxing County

A: 高程(m); B: 坡度(°); C: 照射坡向(无量纲); D: 地形起伏度(m); E: 坡位指数(m); F: 年平均气温(℃); G: 年平均降水(mm); H: 年活动积温(℃); I: 年生物积温(℃); J: 温暖指数(℃); K: 寒冷指数(℃); L: 湿润指数(mm·℃$^{-1}$); M: 干燥度(无量纲)。A: elevation (m); B: slope (°); C: trasp (non-dimensional); D: relief (m); E: topographic position index (m); F: annual average temperature (℃); G: annual average precipitation (mm); H: active accumulate temperature (℃); I: biological cumulative temperature (℃); J: warmth index (℃); K: coldness index (℃); L: humidity index (mm·℃$^{-1}$); M: drought index (non-dimensional).

影响山区耕地资源潜力的8个关键生态要素的贡献率排序为: 地形起伏度>高程>坡位指数>转换坡向>寒冷指数>年平均气温>干燥度>坡度, 所选的生态要素中地形要素的贡献率大于气象及气象相关要素的。因此, 评估耕地太行山丘陵区耕地资源潜力时, 地形要素配置的分析较气象及气象相关要素的配置更为重要。

由模型参数中的回归系数β(表3)分析得出各个生态要素与山区耕地资源潜力的正负相关关系。8个影响山区耕地资源的关键生态要素中, 除了年平均气温和寒冷指数, 其余自变量因子都是负的回归系数, 说明随着年平均气温和寒冷指数的增加, 山区耕地资源潜力呈现增加的趋势, 而其余自变量因子的增加会引起山区耕地资源潜力呈现减小的趋势。

自变量因子的改变引起山区耕地资源潜力变化可量化, 由表 3 发生比率(OR)可知, 除了干燥度改变 1 个单位量, 山区耕地资源潜力变化 0.3 倍, 其余

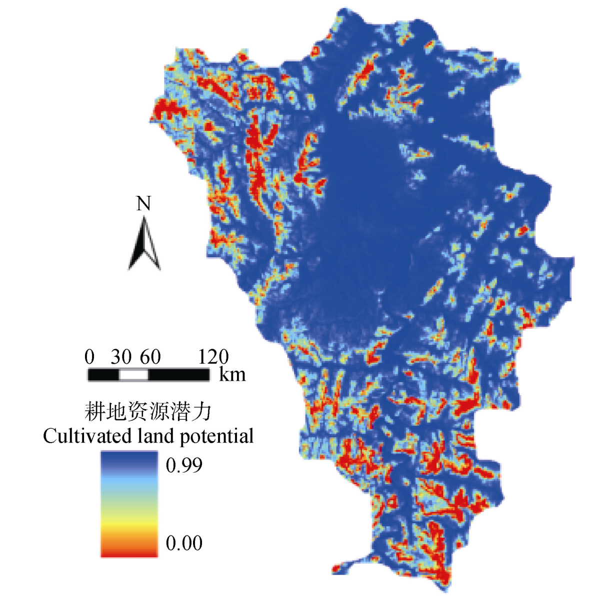


图 4　基于二分类 Logistic 回归模型的井陉县耕地资源潜力分布图

Fig. 4　Distribution map of cultivated land potential of Jingxing County based on the binary Logistic regression model

自变量因子改变 1 个单位量，山区耕地资源潜力变化 1 倍左右。

2.2 耕地资源潜力估算

将表 3 中的回归系数带入到方程(1)，得到 Logistic 回归模型，根据模型利用 GIS 运算生态要素栅格图，得到井陉县耕地资源潜力分布图(图 4)。由图 4 可以看出，井陉县耕地资源潜力在 0.5 以下地区所占面积极少。对于该模型，人们一般选择的划分阈值为 0.5，但是从生态安全的角度，山区土地资源成为耕地资源的条件比较严格[17]，因此选择 0.9 作为阈值来划分研究区域能够成为耕地的地区。耕地资源潜力大于 0.9 的分布区如图 5 所示。分析可得，基于二分类 Logistic 回归模型，井陉山区土地资源能够成为耕地的面积为 60 400 hm^2，应用 SPOT5 影像分析得到井陉县的耕地面积 45 600 hm^2，故井陉县还具有 14 800 hm^2 的耕地后备资源，相当于现有耕地面积的 32.5%。由此可知，井陉县具有较多的耕地后备资源。

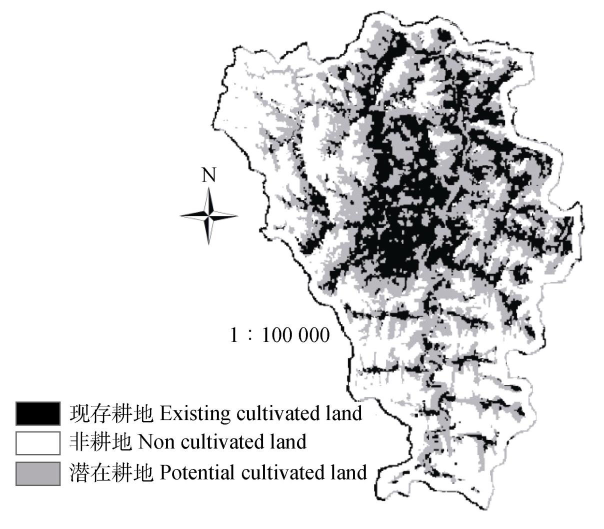


图 5 基于二分类 Logistic 回归模型井陉县后备耕地资源分布图

Fig. 5 Distribution map of cultivated land reserve of Jingxing County based on the binary Logistic regression model

3 结论与讨论

本文从生态角度出发，选择 13 个山区耕地资源潜力的生态要素，利用二分类 Logistic 回归模型分析，得到 8 个关键生态要素，分别是地形起伏度、高程、坡位指数、转换坡向、寒冷指数、年平均气温、干燥度、坡度。基于建立的 Logistic 回归模型，利用 Arcgis 软件得到井陉县耕地资源潜力分布图，经分析得出井陉县还具有 14 800 hm^2 的后备耕地资源，相当于现有耕地面积的 32.5%，为以后井陉县耕地后备资源的开发利用提供了一定的理论依据。

在山区，高程和坡度是影响耕地资源分布的最要影响因素[10-11,18]。在丘陵区地形起伏度和高程是影响丘陵区耕地资源潜力的两大最主要的生态要素，其贡献率大于 70%。因此，高程是影响丘陵区耕地资源分布的主要因素之一，这与前人研究结果一致。但是，丘陵区坡度并不是影响丘陵区耕地资源分布的最主要的因素，而地形起伏度则是影响耕地资源分布的主要因素之一。其原因是太行山丘陵区坡度较缓，80%的地区坡度<25°(图 3B)。

张迪等[7]指出耕地后备资源中，面积最大的是荒草地，这部分荒草地大多分布在山地丘陵区。张贵军等[14]按不同地貌类型将河北省划分为 8 个类型区，认为太行山丘陵区耕地后备资源潜力较大。本研究结果进一步证明了前人的研究结论。但是，本研究所选择的决定耕地资源分布的生态要素中没有包括土壤因子，而土壤是决定一个地区是否能够成为耕地的决定性条件[12,19-20]。由于山区土壤数据较难获得，且缺少研究区土壤理化性质以及土层厚度的空间化数据。另外，根据我国 1∶400 万的土壤类型图，井陉县土壤类型较一致，全部为淋溶褐土。因此，本文建立井陉县耕地模型中，没有考虑土壤因素。对于更大区域的研究中，为了模型的准确性，应该加入土壤因素。

参考文献 References

[1] United Nations Environment Programme. Mountain watch [EB/OL]. (2002) http://www.Ourplanet.com/wcmc/pdfs/mountains.pdf

[2] Huddleston B, Ataman E, de Salvo P, et al. Towards a GIS-based analysis of mountain environments and populations[R]. Rome, Italy: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2003

[3] 邓伟，唐伟．试论中国山区城镇化方向选择及对策[J]．山地学报, 2013, 31(2): 168–173
Deng W, Tang W. General directions and countermeasures for urbanization development in mountain areas of China[J]. Journal of Mountain Science, 2013, 31(2): 168–173

[4] 邓伟，熊永兰，赵纪东，等．国际山地研究计划的启示[J]．山地学报, 2013, 31(3): 377–384
Deng W, Xiong Y L, Zhao J D, et al. Enlightenment from international mountain research projects[J]. Journal of Mountain Science, 2013, 31(3): 377–384

[5] 张士功．耕地资源与粮食安全[D]．北京：中国农业科学院, 2005
Zhang S G. Cultivated land resources and grain security[D]. Beijing: Chinese Academy of Agricultural Sciences, 2005

[6] 朱红波．中国耕地资源安全研究[D]．武汉：华中农业大学, 2006
Zhu H B. Study on cultivated land resources security in China[D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2006

[7] 张迪, 张凤荣, 安萍莉, 等. 中国现阶段后备耕地资源经济供给能力分析[J]. 资源科学, 2004, 26(5): 46–52
Zhang D, Zhang F R, An P L, et al. Potential economic supply of uncultivated arable land in China[J]. Resources Science, 2004, 26(5): 46–52
[8] Ullah S, Farooq M, Shafique M, et al. Spatial assessment of forest cover and land-use changes in the Hindu-Kush mountain ranges of northern Pakistan[J]. Journal of Mountain Science, 2016, 13(7): 1229–1237
[9] 谭莉梅, 李红军, 刘慧涛, 等. 河北省太行山区域耕地资源空间分布特征研究[J]. 中国生态农业学报, 2010, 18(4): 872–875
Tan L M, Li H J, Liu H T, et al. Spatial distribution characteristics of arable lands in Taihang Mountain area of Hebei Province[J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2010, 18(4): 872–875
[10] 胡学东, 王占岐, 邹利林. 基于贝叶斯概率模型的鄂西北山地区耕地整治适宜性评价[J]. 资源科学, 2016, 38(1): 83–92
Hu X D, Wang Z Q, Zou L L. Suitability evaluation of arable land consolidation in mountain areas of northwestern Hubei based on Bayesian probability modeling[J]. Resources Science, 2016, 38(1): 83–92
[11] Liu Y S, Wang J Y, Guo L Y. GIS-based assessment of land suitability for optimal allocation in the Qinling Mountains, China[J]. Pedosphere, 2006, 16(5): 579–586
[12] 张甘霖, 吴运金, 赵玉国. 基于 SOTER 的中国耕地后备资源自然质量适宜性评价[J]. 农业工程学报, 2010, 26(4): 1–8
Zhang G L, Wu Y J, Zhao Y G. Physical suitability evaluation of reserve resources of cultivated land in China based on SOTER[J]. Transactions of the CSAE, 2010, 26(4): 1–8
[13] 中国人民共和国国土资源部.中华人民共和国国土资源行业标准(TD/T 1007—2003)耕地后备资源调查与评价技术规程[S]. 北京: 中国人民共和国国土资源部, 2003
Ministry of land and resources of the People's Republic of China. Industry standard of land and resource of the People's Republic of China (TD/T 1007—2003), cultivated land reserved resources investigation and evaluation procedures[S]. Beijing: Ministry of Land and Resources of the People's Republic of China, 2003
[14] 张贵军, 赵胜利, 尹君, 等. 河北省耕地后备资源开发利用分析[J]. 国土与自然资源研究, 2005, (2): 40–42
Zhang G J, Zhao S L, Yin J, et al. Analysis on exploitation and utilization of reserved cultivated land resource in Hebei Province[J]. Territory and Natural Resources Study, 2005, (2): 40–42
[15] 王济川, 郭志刚. Logistic 回归模型: 方法和应用[M]. 北京: 高等教育出版社, 2001
Wang J C, Guo Z G. Logistic Regression Models: Method and Application[M]. Beijing: Higher Education Press, 2001
[16] Hosmer D W, Lemeshow S. Applied Logistic Regression[M]. 2nd ed. New York: John Wiley and Sons, 2000
[17] 杨子生. 基于可持续发展的山区省份耕地总量动态平衡研究——以云南省为例[J]. 资源科学, 2001, 23(5): 33–40
Yang Z S. A study on the dynamic balance of total cultivated land amount in the province of mountain region on the basis of sustainable development — Taking Yunnan Province as an example[J]. Resources Science, 2001, 23(5): 33–40
[18] Zhang Y, Xu B. Spatiotemporal analysis of land use/cover changes in Nanchang area, China[J]. International Journal of Digital Earth, 2015, 8(4): 312–333
[19] 关小克, 张凤荣, 李乐, 等. 北京市耕地后备资源开发适宜性评价[J]. 农业工程学报, 2010, 26(12): 304–310
Guan X K, Zhang F R, Li L, et al. Suitability evaluation of reserve resources of cultivated land development in Beijing[J]. Transactions of the CSAE, 2010, 26(12): 304–310
[20] 张凤荣, 郭力娜, 关小克, 等. 生态安全观下耕地后备资源评价指标体系探讨[J]. 中国土地科学, 2009, 23(9): 4–8
Zhang F R, Guo L N, Guan X K, et al. Study on the evaluation indicators of the arable land from the view of ecological security[J]. China Land Science, 2009, 23(9): 4–8